

# Collecte de mesures météorologiques à l'aide d'un système autonome : exemple de la métropole rennaise (Zone Atelier Armorique)

Alban Thomas - Hervé QuénoI

UMR LETG Rennes - COSTEL

24/09/2015



# LETG Rennes - COSTEL et OSUR

- LETG

- *Littoral, Environnement, Télédétection et Géomatique*
- Axes de recherche : changements globaux, risques climatiques ...
- COSTEL (site rennais, Université Rennes 2)
  - *Climat, Occupation du sol par Télédétection*
  - Etude îlot de chaleur urbain sur Rennes Métropole
  - Membre de l'OSUR

- OSUR

- *Observatoire des Sciences de l'Univers de Rennes (CNRS)*
- Missions d'observation des systèmes planétaires et environnementaux sur le **long terme**



Terre, Écosystèmes et Sociétés

**Observatoire**  
*des Sciences de l'Univers*  
**de Rennes**



# Zone Atelier Armorique (ZAA)



- Membre du *Réseau Zones Ateliers* de l'Institut Écologie et Environnement du CNRS (INEE)
- Dispositif de recherche à **long terme** pour comprendre les relations entre une société et son environnement
- Rennes Métropole inclu dans ZAA depuis 2011

*Le long terme est la principale motivation de ce projet...*



# Réseau de stations météorologiques

1996

ECORURB

- premières mesures météorologiques collectées (Mélesse)
- *Écologie du Rural vers l'Urbain*
- 2003 à 2013, sur Angers et Rennes
- partenariats avec ville de Rennes, Rennes Métropole . . .
- climatologie : mise en place stations météorologiques (2004)

Actuellement 18 stations météorologiques

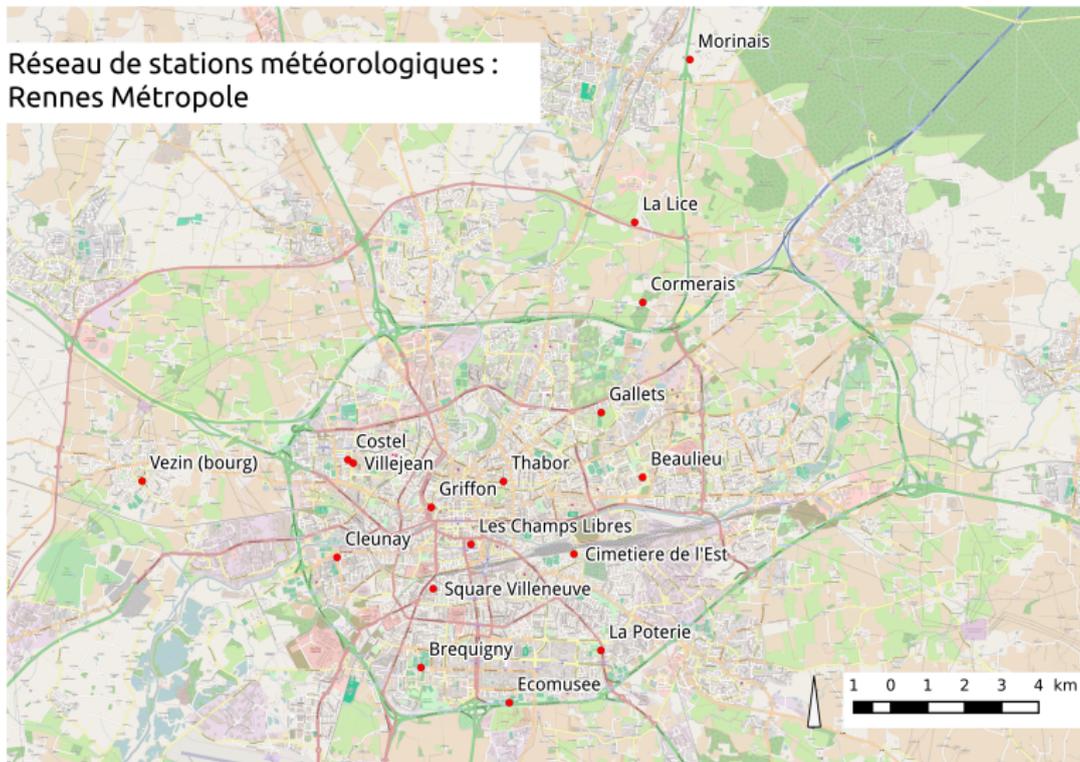
Futur pérenniser ce réseau de stations en automatisant collecte

- **via Internet (stations existantes)**
- via GSM/GPRS ou ondes radio



# Réseau de stations météorologiques

Réseau de stations météorologiques :  
Rennes Métropole



# Weather Monitor II



- Les plus anciennes : des années 80 jusque 2007
- ... mais fiables et 11 sites toujours équipés

# Vantage Pro 2

- Conception plus récente, architecture similaire :
  - ① **capteurs** météorologiques (anémomètre, pluviomètre...)
  - ② **station** qui enregistre les mesures
  - ③ **console** (à l'intérieur) qui affiche et stocke les données (1 à 2 mois de données)
- 7 sites équipés



# Problématique

- Actuellement
  - Tous les mois, 11 stations relevées manuellement,
  - 7 autres stations gérées par des volontaires, données envoyées par courriel (fichier dans un format propriétaire)
- 2 problèmes majeurs
  - ① Coût en temps
    - Relevé des mesures sur le terrain
    - Centralisation et formalisation de toutes les données
  - ② Perte de données
    - Coupures de courant
    - Dysfonctionnement d'un capteur



# Présentation du projet

- Besoin d'une solution permettant
  - de collecter automatiquement et à distance les mesures météorologiques, sous un format standard
  - d'indiquer l'état des stations en temps quasi-réel (détection des problèmes)
- Contraintes budgétaires
  - acquisition de stations équipées GSM/GPRS impossible
  - besoin alternative à un prix raisonnable



# Présentation du projet

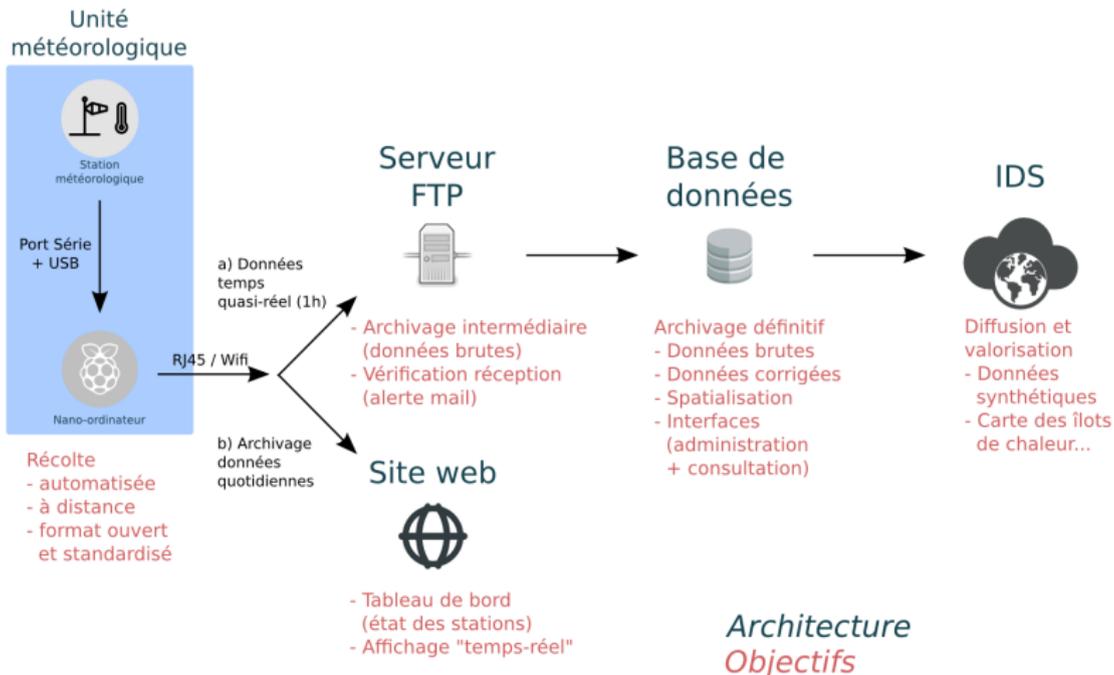
- Besoin d'une solution permettant
  - de collecter automatiquement et à distance les mesures météorologiques, sous un format standard
  - d'indiquer l'état des stations en temps quasi-réel (détection des problèmes)
- Contraintes budgétaires
  - acquisition de stations équipées GSM/GPRS impossible
  - besoin alternative à un prix raisonnable

→ Solution retenue

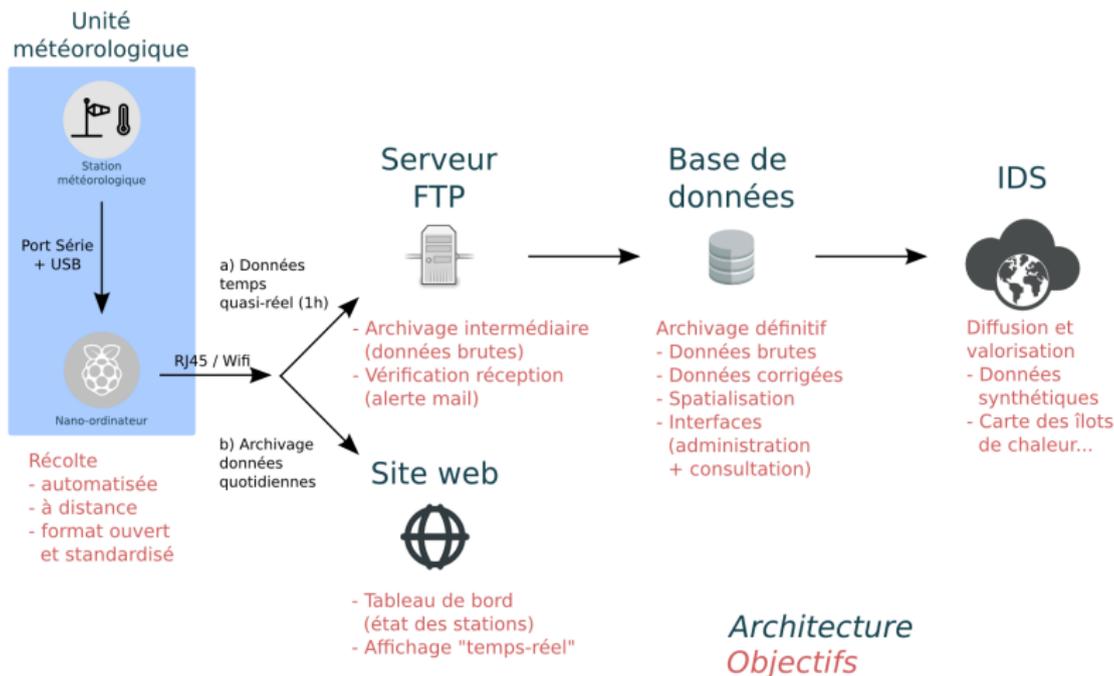
- Mini-ordinateurs à coût modique (Raspberry Pi) connectés
  - à console des stations, pour collecter les données
  - à internet (Wifi ou filaire), pour les transmettre



# Architecture du projet complet



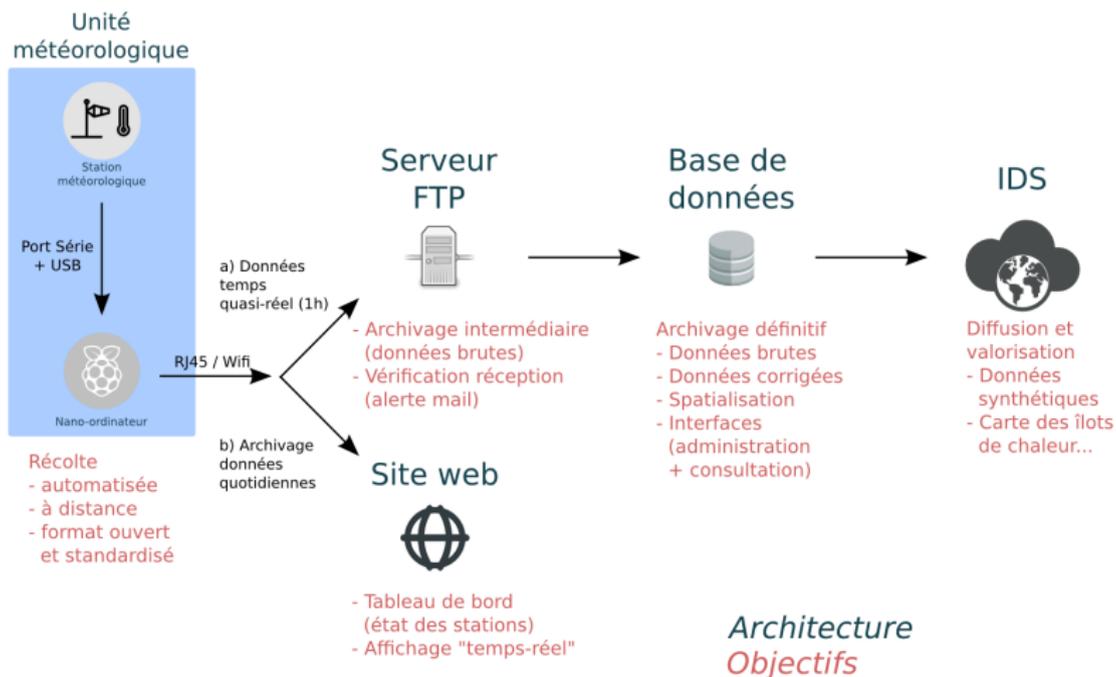
# Architecture du projet complet



## 1. Raspberry Pi et l'application (rpi\_weather)

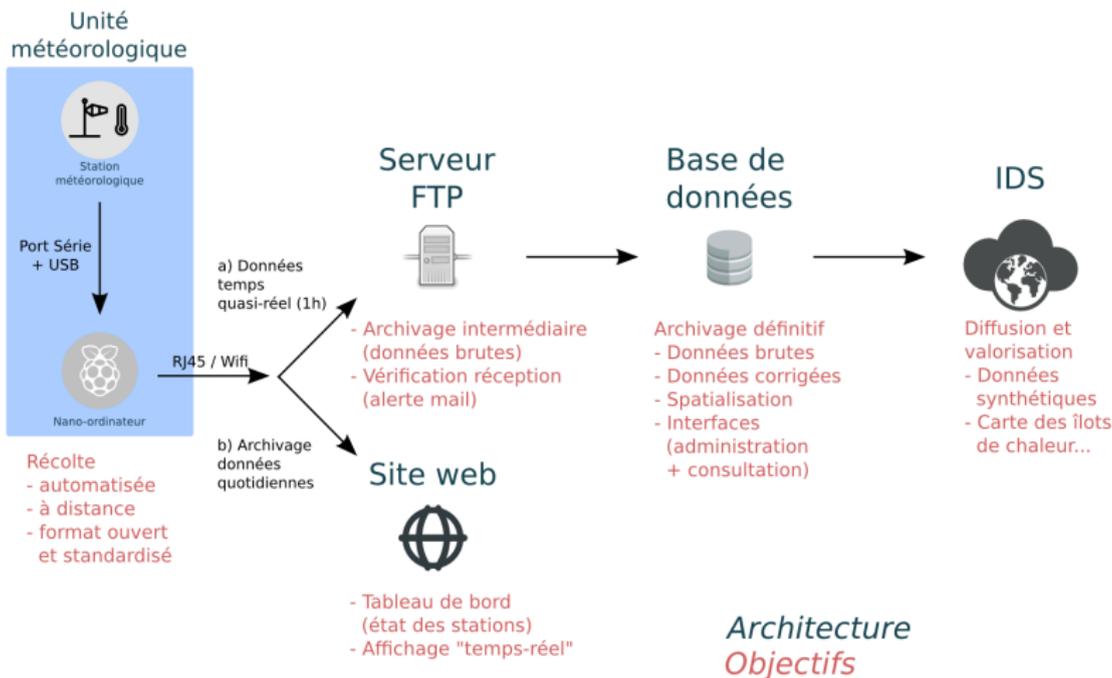


# Architecture du projet complet



## 2. Archivage (base de données)

# Architecture du projet complet



## 3. Retour d'expérience



# Présentation



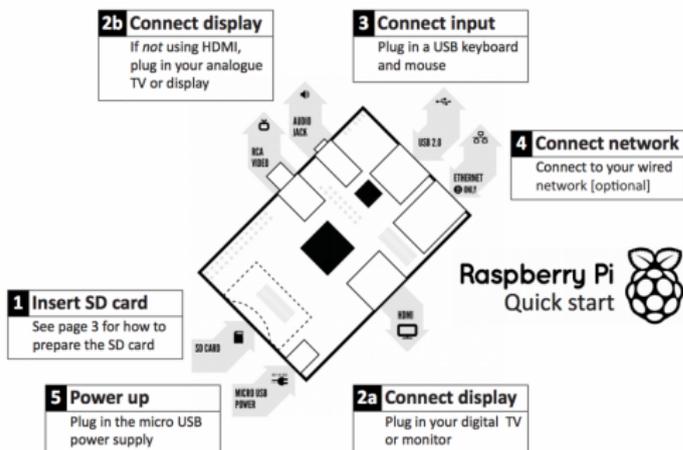
- Nano-ordinateur monocarte à processeur ARM

- Premières ventes en 2012
- Taille d'une carte de crédit
- Coût modique (environ 30€), mais peu puissant
- Matériel
  - processeur ARM11 à 700 MHz
  - 1, 2 ou 4 ports USB (suivant les versions)
  - un port RJ45
  - 512 Mo de RAM
  - circuit graphique BMC Videocore 4



# Objectifs

- Collecte données
  - console Davis (port USB)
  - Vantage Pro 2 et Weather Monitor II



- Transmission vers Internet
  - données actuelles (HTTP)
  - données quotidiennes (FTP)
  - réseau filaire ou sans-fil
- Système autonome
  - mise à jour heure station
  - reconfigure station
  - redémarre en cas de problèmes récurrents



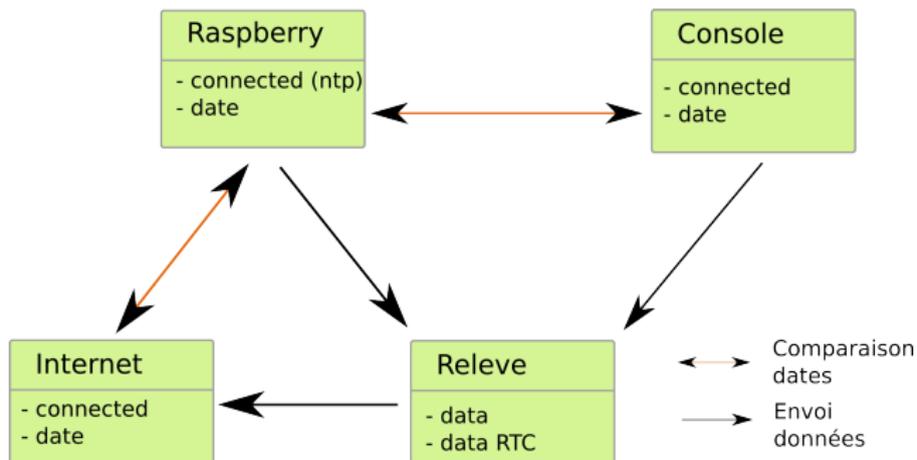
# Description

- Application codée en Python
  - Destinée au Raspberry Pi, compatible Linux (Debian)
  - 3000 lignes de codes
  - Approche objet (15 classes)
  - Tests unitaires
  - Dépôt privé (licence en discussion)
- Système autonome
  - Démarre automatiquement la collecte et la transmission des données
  - Redémarre en cas de problème



# Approche objet

- Approche particulièrement adaptée à ce projet
  - Modélisation intuitive des composants
  - Exemple : le Raspberry pi n'a pas de RTC !



# Système autonome

- Communication impossible avec Raspberry (sans ssh)
  - tableau de bord et accès au log (FTP)
  - **code doit être robuste**
- Prévoir toutes les erreurs possibles. . .
  - 66 tests unitaires = 66 erreurs isolées prévues :
    - communication avec la console sur un mauvais port
    - mesure météorologique impossible (ex: humidité >100%)
    - ...
- ... et puis abandonner !
  - tests unitaires limités (communication avec console)
  - comment imaginer toutes les erreurs (bug de l'an 3000) ?
- Chien de garde (*watchdog*)
  - programme indépendant qui surveille un processus
  - redémarre *rpi\_weather* quand il est arrêté
  - redémarre Raspberry quand *rpi\_weather* plante trop souvent



# Affichage en temps "réel" : tableau de bord

Réseau météorologique Rennes [en construction] - Mozilla Firefox

https://osur.univ-rennes1.fr/meteo\_rennes/

## Réseau météorologique Rennes [en construction]

Rennes, France  
14°C  
WU METEOROLOGICAL SERVICE  
[Click for weather forecast](#)

[UTC] 19:36:37

| Villejean  | Costel   | Melesse  | Beaulieu  |
|--|--|--|---|
| [UTC] 2015-08-18 03:00   | [UTC] 2015-09-06 17:09   | [UTC] 2015-08-06 16:19   | [UTC] 2015-09-06 19:00  |
| Température : 15.3°C<br>Pression : 1019.2 hPa<br>Vitesse vent : 0.0m/s<br>Direction : --°<br>Humidité : 74%<br>Précipitations : 2.58mm | Température : 17.3°C<br>Pression : 1057.6 hPa<br>Vitesse vent : 0.0m/s<br>Direction : --°<br>Humidité : 76%<br>Précipitations : 4.11mm | Température : 23.3°C<br>Pression : 1023.8 hPa<br>Vitesse vent : 0.4m/s<br>Direction : 285°<br>Humidité : 56%<br>Précipitations : 71.84mm | Température : 15.6°C<br>Pression : 1026.6 hPa<br>Vitesse vent : 0.0m/s<br>Direction : --°<br>Humidité : 54%<br>Précipitations : 19.63mm |

| La Morinais  | Vezin  | --  | Test  |
|--|--|---|---|
| [UTC] 2015-09-06 18:00   | [UTC] 2015-08-28 10:00   | [UTC] --  | [UTC] 2015-07-16 07:40  |
| Température : 13.6°C<br>Pression : 1020.4 hPa<br>Vitesse vent : 0.0m/s<br>Direction : 344°<br>Humidité : 77%<br>Précipitations : 0.0mm | Température : 18.7°C<br>Pression : 1017.9 hPa<br>Vitesse vent : 0.0m/s<br>Direction : 360°<br>Humidité : 80%<br>Précipitations : 0.0mm | Température : --°C<br>Pression : -- hPa<br>Vitesse vent : --m/s<br>Direction : --°<br>Humidité : --%<br>Précipitations : --mm | Température : --°C<br>Pression : 1014.5 hPa<br>Vitesse vent : 0.0m/s<br>Direction : --°<br>Humidité : --%<br>Précipitations : 0.0mm |

Mozilla Firefox semble lent... à... démarrer. [Découvrir comment l'accélérer] [Je plus m'avertir]

Site de démonstration



# Problématique

## Données météorologiques

- Différents modèles de station (Davis, Tinytag. . . )
- Différents formats de fichiers (certains propriétaires)
- Différents formattages (nombre de capteurs. . . )
- Non centralisées → difficile de vérifier la qualité

## Objectifs

- Copie données avec format d'origine
- Standardiser formats
- Spatialiser données
- Pouvoir marquer une donnée comme fausse (proposer une correction)
- Améliorer gestion du parc
  - Enregistrer opérations de maintenance
  - Pouvoir indiquer précision des capteurs



# Base de données

## Public

- Données standardisées
- Consultable/Editable
- Mesures météorologiques, stations, sites...
- Spatialisées

## Entrepot

- Données sources
- Privé
- Mesures météorologiques

### Entrepot

- Une table mère correspondant à la notion "d'enregistrement"
- Une table fille pour chaque format de données source
  - Nouveau format ? → Nouvelle table fille

### Public

- Données affichées avec format unique grâce à une vue matérialisée (évite duplication des données)



# Consultation (intranet)

- Interrogation intuitive et efficace des données
- Export

**Données météorologiques ZAA**

Administration

07/09/2012 19/05/2015 24

Échelle temporelle :  Horaires  Quotidiennes  Mensuelles

Mesures :  Température  Pression  Précipitations  Humidité  Vitesse vent  Direction vent

| station                             | date                | temperature | pression | humidité | precipitations | vitesse vent | direction vent |
|-------------------------------------|---------------------|-------------|----------|----------|----------------|--------------|----------------|
| Baschamp (Campbell) (ZAA_35222_004) | 2015-05-18 17:00:00 | 11.56       | 713.25   | 94.77    | 1.4            | 9.8          | NO             |
| Baschamp (Campbell) (ZAA_35222_004) | 2015-05-18 16:00:00 | 12.71       | 714.05   | 85.68    | 0.4            | 8.15         | SSO            |
| Baschamp (Campbell) (ZAA_35222_004) | 2015-05-18 15:00:00 | 12.43       | 714.62   | 82.72    | 0              | 7.25         | SSO            |
| Baschamp (Campbell) (ZAA_35222_004) | 2015-05-18 14:00:00 | 11.45       | 714.62   | 82.4     | 0              | 7.85         | SSO            |
| Baschamp (Campbell) (ZAA_35222_004) | 2015-05-18 13:00:00 | 11.47       | 714.03   | 80.97    | 0              | 6.65         | SSO            |
| Baschamp (Campbell) (ZAA_35222_004) | 2015-05-18 12:00:00 | 10.88       | 715.6    | 85.3     | 0              | 7.47         | SSO            |
| Baschamp (Campbell) (ZAA_35222_004) | 2015-05-18 11:00:00 | 9.64        | 715.24   | 89.38    | 0              | 6.13         | SSO            |
| Baschamp (Campbell) (ZAA_35222_004) | 2015-05-18 10:00:00 | 8.42        | 714.06   | 91.14    | 0              | 4.85         | SSO            |
| Baschamp (Campbell) (ZAA_35222_004) | 2015-05-18 09:00:00 | 7.62        | 713.88   | 94.69    | 0              | 3.73         | SSO            |
| Baschamp (Campbell) (ZAA_35222_004) | 2015-05-18 08:00:00 | 6.37        | 711.69   | 97.46    | 0              | 3.28         | SSO            |
| Baschamp (Campbell) (ZAA_35222_004) | 2015-05-18 07:00:00 | 5.33        | 709.83   | 97.99    | 0              | 3.5          | SSE            |
| Baschamp (Campbell) (ZAA_35222_004) | 2015-05-18 06:00:00 | 5.03        | 710.37   | 98.03    | 0              | 2            | SSE            |
| Baschamp (Campbell) (ZAA_35222_004) | 2015-05-18 05:00:00 | 5.17        | 711.49   | 97.93    | 0              | 1.63         | SSE            |
| Baschamp (Campbell) (ZAA_35222_004) | 2015-05-18 04:00:00 | 5.56        | 711.59   | 97.61    | 0              | 1.1          | SSE            |
| Baschamp (Campbell) (ZAA_35222_004) | 2015-05-18 03:00:00 | 5.87        | 711.55   | 96.82    | 0              | 0.95         | SSE            |
| Baschamp (Campbell) (ZAA_35222_004) | 2015-05-18 02:00:00 | 6.25        | 711.44   | 95.94    | 0              | 1.1          | SSE            |
| Baschamp (Campbell) (ZAA_35222_004) | 2015-05-18 01:00:00 | 6.23        | 711.63   | 93.97    | 0              | 0.95         | SSE            |
| Baschamp (Campbell) (ZAA_35222_004) | 2015-05-18 00:00:00 | 6.26        | 711.6    | 88.89    | 0              | 0            | N              |
| Baschamp (Campbell) (ZAA_35222_004) | 2015-05-17 23:00:00 | 6.58        | 708.93   | 83.08    | 0              | 1.55         | NNE            |
| Baschamp (Campbell) (ZAA_35222_004) | 2015-05-17 22:00:00 | 7.27        | 710.87   | 76.66    | 0              | 3.05         | N              |
| Baschamp (Campbell) (ZAA_35222_004) | 2015-05-17 21:00:00 | 8.07        | 711.79   | 72.6     | 0              | 3.5          | N              |
| Baschamp (Campbell) (ZAA_35222_004) | 2015-05-17 20:00:00 | 8.27        | 711.98   | 69.38    | 0              | 4.77         | ONO            |
| Baschamp (Campbell) (ZAA_35222_004) | 2015-05-17 19:00:00 | 8.78        | 712.17   | 68.38    | 0              | 5.3          | ONO            |
| Baschamp (Campbell) (ZAA_35222_004) | 2015-05-17 18:00:00 | 9           | 712.38   | 68.17    | 0              | 6.05         | ONO            |

(Matthias Reux, 2014)

# Administration (intranet)

- Etat des stations
- Historique des opérations de maintenance
- Import de données (à finaliser)

### Stations

● Actives
● HS
● Toutes

- Breilquigny (ZAA\_35000\_001)
- Cleunay (ZAA\_35000\_004)
- Ecomassée (ZAA\_35000\_005)
- Grillon (ZAA\_35000\_006)
- Thabor (mur) (ZAA\_35000\_010)
- Cimetière de l'Est (ZAA\_35000\_011)
- Square Villeneuve (ZAA\_35000\_012)
- Les Champs Libres (ZAA\_35000\_013)
- Costel (ZAA\_35043\_001)
- Villejean (ZAA\_35043\_002)
- Poterie (ZAA\_35200\_001)
- Gaslain (ZAA\_35222\_002)
- Baschamp (Campbell) (ZAA\_35222\_004)
- Mont-Rouault (Campbell) (ZAA\_35222\_005)
- Jonchay (ZAA\_35222\_006)
- Sougeal-Marnis (Campbell) (ZAA\_35339\_002)
- Trans-la-Forêt (ZAA\_35339\_001)
- Trans-la-Forêt (Campbell) (ZAA\_35339\_002)
- Vincex-Viel (ZAA\_35354\_001)
- Vincex-Viel (ZAA\_35354\_002)
- Beaulieu (ZAA\_35510\_001)
- Malesse (ZAA\_35520\_001)
- Les Gallets (ZAA\_35700\_001)
- La Cormerais (Savoie) (ZAA\_35700\_002)
- Verzin Bourg (ZAA\_35746\_001)
- La Lice (ZAA\_35830\_001)
- La Moutrie (ZAA\_35890\_001)

### - Administration du parc -

#### Les Champs Libres (ZAA\_35000\_013) - Vantage Pro 2

Données : --

Dernière maintenance : 2014-12-19 ( opérateur : thomas a)  Flable

Adresse : Les Champs Libres - 10 cour des Alliés 35000 RENNES

Note :  Enregistrer

#### Maintenance

Show  entries

| Date                   | Nature       | Prénom | Nom    | Description                     |
|------------------------|--------------|--------|--------|---------------------------------|
| 2014-12-19<br>00:00:00 | chgt capteur | Alban  | Thomas | Changement capteur T°C/Humidité |
| 2014-11-26<br>00:00:00 | maintenance  | Alban  | Thomas | Remplacement de la pile station |
| 2014-11-26<br>00:00:00 | incident     | Alban  | Thomas | Capteur T°C+Humidité HS         |

Showing 1 to 3 of 3 entries

[First](#)
[Previous](#)
1
[Next](#)
[Last](#)

#### Ajout d'une opération de maintenance

Date  Nature de l'opération  Opérateur

Description

#### Import de données

Date de relevé :  Parcourir... Aucun fichier sélectionné

# Le (manque de) choix

- Face à un projet, quelles options ?
  - Développer soi-même
  - Embaucher quelqu'un
  - Faire appel à un prestataire
- Coût de chaque option dépend
  - des compétences disponibles en interne
  - stagiaire / contractuel / consultant
  - appel d'offre / marché truqué
  - ... et plein d'autres bonnes raisons

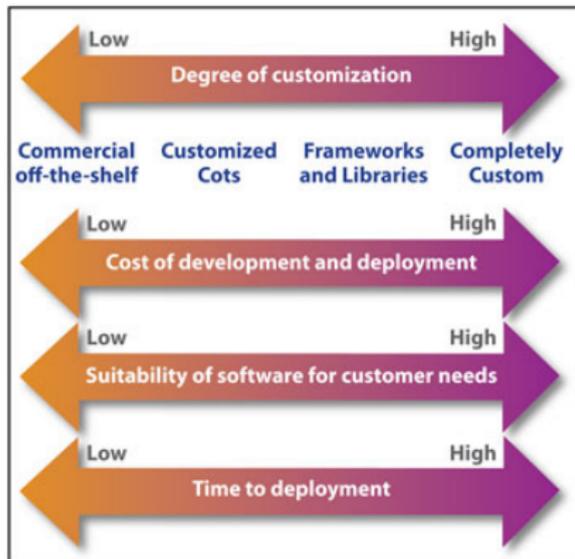


# Le (manque de) choix

- Face à un projet, quelles options ?
  - **Développer soi-même**
  - Embaucher quelqu'un
  - Faire appel à un prestataire
- Coût de chaque option dépend
  - des compétences disponibles en interne
  - stagiaire / contractuel / consultant
  - appel d'offre / marché truqué
  - ... et plein d'autres bonnes raisons
- Aucun budget dédié au projet

# Le (manque de) choix

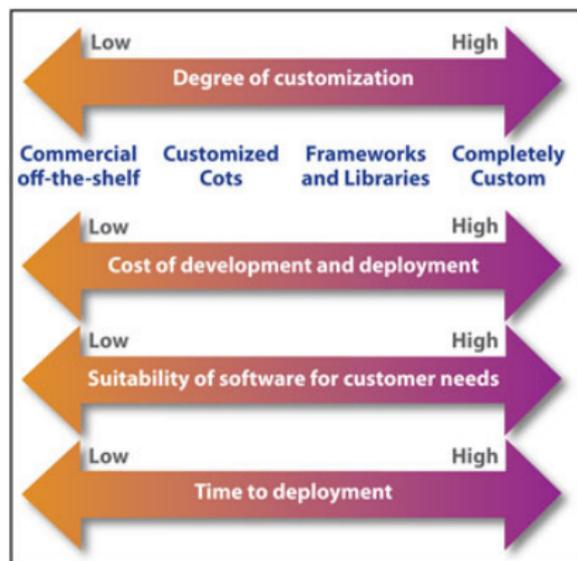
Plusieurs choix :



- 1 Acheter un logiciel
- 2 Personnaliser un logiciel
- 3 Utiliser des librairies/frameworks
- 4 Tout développer

# Le (manque de) choix

Plusieurs choix :



- 1 Acheter un logiciel → *Aucun logiciel ne répondait aux objectifs (Weather Monitor II)*
- 2 Personnaliser un logiciel → *Difficile (manque de compétences)*
- 3 **Utiliser des bibliothèques/frameworks**
- 4 Tout développer → *Pourquoi je re-développerais tout ?*

# Budget estimé (modèle COCOMO)

```
Totals grouped by language (dominant language first):  
python:          2293 (100.00%)
```

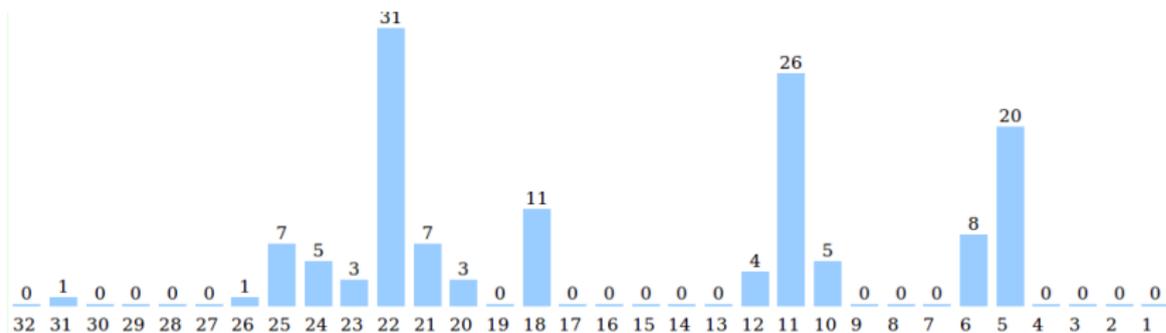
```
Total Physical Source Lines of Code (SLOC)          = 2,293  
Development Effort Estimate, Person-Years (Person-Months) = 0.48 (5.74)  
  (Basic COCOMO model, Person-Months = 2.4 * (KSLOC**1.05))  
Schedule Estimate, Years (Months)                   = 0.40 (4.86)  
  (Basic COCOMO model, Months = 2.5 * (person-months**0.38))  
Estimated Average Number of Developers (Effort/Schedule) = 1.18  
Total Estimated Cost to Develop                      = $ 64,575  
  (average salary = $56,286/year, overhead = 2.40).  
SLOCCount, Copyright (C) 2001-2004 David A. Wheeler
```

- 2300 lignes écrites
  - Coût : 57 800€
  - Temps nécessaire : 8 mois pour un développeur

→ **Attention à ne pas sous-estimer coût du projet**

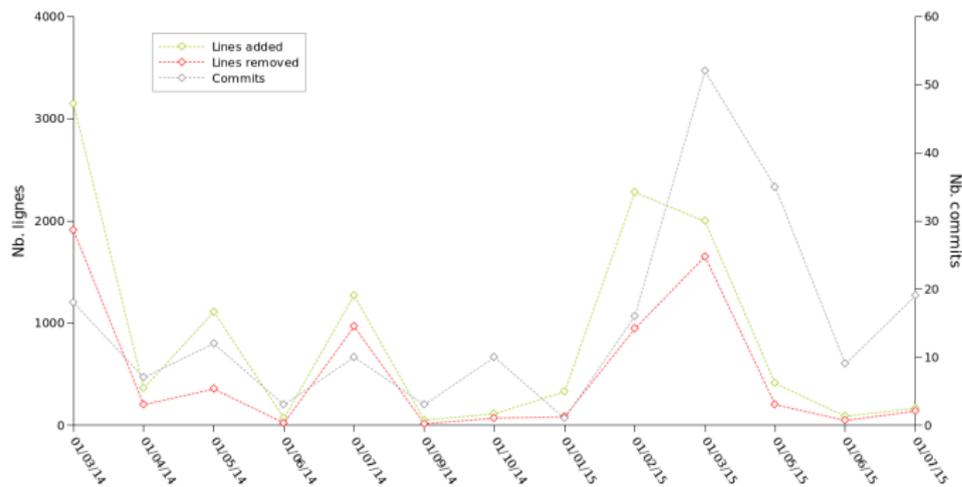


# Investissement réel (approximation grossière)



- 14/32 dernières semaines avec commits → **44%** de mon temps

# Investissement réel (approximation grossière)



- 14/32 dernières semaines avec commits → **44%** de mon temps
  - Commits du 5/03/14 au 26/08/15 (+ débuts en 2013) → ~ **9 mois**
- **Coût : ~ 36 000€** (COCOMO : 57 800€)

# Moins cher qu'un développeur professionnel ?

## Vraiment ?

- Coût surestimé par COCOMO :
  - factorisations possibles
- Coût réel sous-estimé
  - certainement plus de temps consacré
- Coûts COCOMO/réel du même ordre + approximations  
→ **pas sûr**

## Inconvénient

- Qualité du code équivalente/suffisante ?  
→ L'avenir le dira...

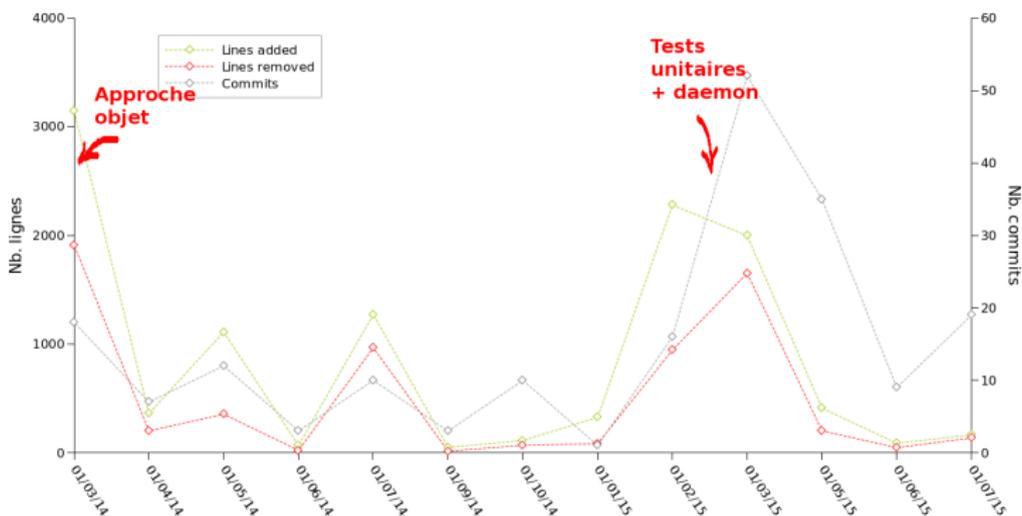
## Avantages

- Capable de maintenir et développer le code
- **Montée en compétences**
- Temps consacré pour en économiser plus tard



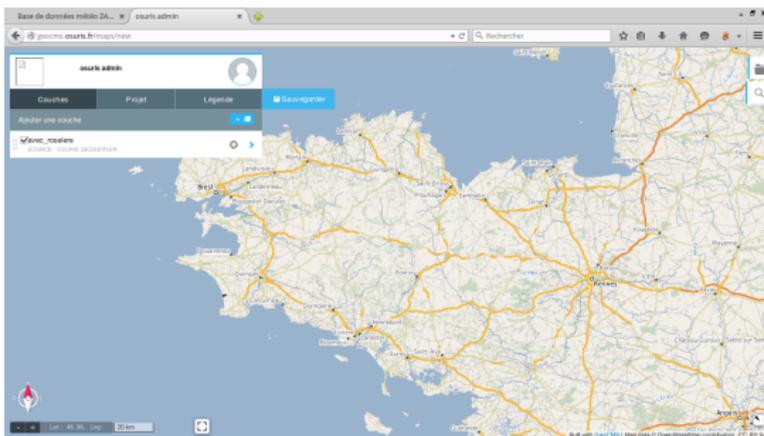
# Ce projet m'a appris

- Pratiquer l'approche objet
- Tests unitaires
- Chien de garde (et créer un daemon avec Python)



# Mise à disposition des données : OSURIS/Indigeo

- Volonté d'ouverture, respect de l'intéropérabilité et d'INSPIRE
- Mais quelles données ?
  - brutes ? validées ? corrigées ? → quelle est notre responsabilité ?
  - agrégée ou détaillée ?
  - accès exclusif ou prioritaire aux membres de l'OSUR ? Open Data ?



*RDV sur <http://indigeo.fr/> (LETG) et sur [www.osuris.fr](http://www.osuris.fr) (OSUR) !*



# Collecte des données

- Connexion à console : 3 cables !
  - console équipée d'un port RJ9 / RJ10
  - (adaptateur supplémentaire pour Vantage Pro2)
  - adaptateur RJ9 / RJ10 vers série
  - adaptateur série vers USB
  - Raspberry Pi équipé de ports USB
- 2 solutions pour simplifier connexion
  - 1 **Electronique** : installer port série ou RJ10 sur Raspberry Pi
  - 2 **Davis** : achat d'enregistreurs (dans console) avec sortie USB  
→ solution plus onéreuse (3 \* coût Raspberry !)

# Pour conclure

- *rpi\_weather* = 1 solution
  - à prix modique : 70€ (- cher avec PC réformés)
  - adaptée à nos besoins spécifiques (Weather Monitor II)
  - basée sur outils libres et formats standards
  - en cours de déploiement
- Une expérience riche
  - montée en compétences en programmation
  - plus de recul pour les projets futurs
- Cela a un coût !
  - pas de budget pour *rpi\_weather*
  - du temps donc... Heureusement, c'est un **réseau à long terme**
  - réutilisable pour d'autres réseaux (ZAA, Brésil...)
- Un projet plus large qui continue
  - qualité des données
  - mise à disposition (IDS)...

